

Методы исследования тонких пленок сплава типа FINEMET

Коновцева Ольга Андреевна

Михалицына Евгения Александровна, Катаев Василий Анатольевич

Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина

Институт естественных наук и математики

Катаев Василий Анатольевич, к.ф.-м.н.

olya_konovceva@mail.ru

В настоящее время внимание многих исследователей привлекают тонкие магнитные пленки (ТМП) многокомпонентного сплава FeCuNbSiB в аморфном и нанокристаллическом состоянии, которые рассматривают в качестве потенциальной функциональной среды для магнитных датчиков [1,2]. Этот сплав, ранее получаемый в виде быстрозакаленных лент и известный как Finemet, обладает превосходными магнитомягкими свойствами. Соответственно пленки сплава FeCuNbSiB оценивают по реализованному в них уровню и стабильности магнитных и электрических свойств [3]. При этом результат зависит от толщины и однородности осаждаемой пленки, ее шероховатости, соответствия химического состава составу мишени сплава, среднего размера кристаллитов. Перечисленные параметры, которые можно назвать параметрами качества, во многом задаются методом, условиями получения и подложкой, на которой формируется пленка. Воспроизведение требуемого уровня свойств столь непростых объектов, как ТМП сплава Finemet, требует целого арсенала надежных методов контроля параметров их качества.

В данной работе в целях оценки возможностей получения достоверных значений показателей качества пленок использовали стилусный профилометр Dektak 150, рентгеновский флуоресцентный спектрометр Nanohunter, рентгеновский дифрактометр D8 DISCOVER. В качестве объектов были изучены образцы тонких пленок сплавов FeSiCuMB (M=Nb, NbMo, W) толщиной от 10 до 200 нм, полученные методом ионно-плазменного высокочастотного распыления, осажденные на стеклянные подложки и подложки из монокристаллического кремния с предварительно напыленным слоем SiO₂ толщиной 100 нм.

Толщина пленок определялась по высоте ступеньки между пленкой и подложкой, образованной после удаления маркера, нанесенного на подложку перед напылением. С помощью стилусного профилометра в разных точках поверхности пленки в районе ступеньки измерялся профиль и высота перепада, соответствующая толщине пленки, после чего вычислялось среднее значение толщины. В ходе исследований было обнаружено, что реальная толщина всех пленок оказалась меньше заданной по времени напыления. При малом времени напыления значения заданной и реальной толщин сопоставимы, однако с увеличением времени напыления наблюдается все большее расхождение.

Для определения шероховатости также с помощью профилометра на длине 1000 мкм был измерен профиль поверхности пленок разной толщины, до и после термообработки: три раза как со стороны пленки, так и со стороны подложки, поскольку ожидалось, что наиболее тонкие пленки будут повторять рельеф подложки. Затем, с помощью формул определялась средняя шероховатость пленки и подложки [4]. Шероховатость пленок возрастает с увеличением толщины пленки, а также с температурой термообработки. Проведенное сравнение шероховатости пленок, нанесенных на разные подложки, показало, что кремниевая подложка является более предпочтительной ввиду меньшей шероховатости напыленных на нее пленок.

Химический состав напыленных пленок определялся с помощью спектрометра Nanohunter. Многокомпонентный состав распыляемого сплава и наличие кремния как в составе сплава, так и в составе подложки, а также малая толщина исследуемых образцов во многом затрудняют определения химического состава пленок для сопоставления с составом мишени. Полученный химический состав пленок сплава Fe_{73,9}Si_{13,2}Cu₁Nb₃B_{8,9} представлен в таблице.

Сплав		Fe	Si	Nb	Cu	B
Fe73.9Si13.2B8.9Nb3Cu1	Мишень	73,9	13,2	3	1	8,9
	Мишень без бора (B)	81,1	14,5	3,3	1,1	-
	Пленка 500 нм	83,7	12,3	3,3	0,6	-

Используемый метод не позволяет идентифицировать бор. Для корректного сравнения полученных данных с составом мишени произвели перерасчет состава мишени без учета бора (табл.). Анализ показал, что в целом состав пленки воспроизводится, однако не для всех элементов. Наибольшее различие наблюдалось для меди, которой в пленке оказалось в два раза меньше, чем в исходном сплаве. Возможной причиной такого несоответствия может быть проведенный перерасчет состава без учета бора.

Структурное состояние пленок было исследовано методом рентгеновской дифракции. Пленки в исходном состоянии являются рентгеноаморфными с размером кристаллитов α -Fe до 1 нм. В ходе

термообработки происходит кристаллизация пленок, в результате которой формируются зерна размером порядка 13 нм.

Список публикаций:

- [1] Y. Yoshizawa, S. Oguma, K. Yamauchi // *New Fe-based soft magnetic alloys composed of ultrafine grain structure: Journal of Applied Physics*. 1988. № 64. P.4-10.
[2] J P Whitney, P S Sreetharan, K Y Ma and R J Wood // *Journal of Micromechanics and Microengineering*. 2011. №21. P.3-6
[3] Филиппов Б.Н., Шулика В.В., Помапов А.П., Вильданова Н.Ф. // *Журнал технической физики*. 2014. Т. 84. № 3. С.63.
[4] *Dektak 150 surface profiler. User's manual*. 2007. P.120-130.

Влияние толщины антиферромагнитных слоёв Fe-Mn, Fe-Mn на гистерезисные свойства плёнок с обменным смещением

Куликова Татьяна Вячеславовна

*Москалёв Михаил Евгеньевич, Лепаловский Владимир Николаевич, Степанова Елена Александровна,
Васьковский Владимир Олегович*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Васьковский Владимир Олегович, д.ф.-м.н.

Tatiana.Kulikova@urfu.ru

Обменное смещение реализуется в плёночных структурах, содержащих контактирующие ферро- и антиферромагнитные слои [1]. В таких структурах антиферромагнитный слой за счёт межслойной обменной связи оказывает ориентирующее действие на магнитный момент ферромагнитного слоя. В результате ферромагнитный слой в отсутствие внешнего магнитного поля оказывается монодоменизированным, что является необходимым свойством функциональных плёночных сред для ряда устройств магнитоэлектроники [2]. Данная работа посвящена сопоставительному исследованию влияния толщины слоёв разных антиферромагнетиков на реализацию обменного смещения и гистерезисные свойства плёнок на основе пермаллоя.

Среди антиферромагнетиков, температура Нееля которых превышает комнатную температуру, наиболее эффективными источниками обменного смещения являются сплавы, содержащие Mn. К ним, в частности, относятся эквиатомный сплав FeMn и сплав $\text{Ni}_{30}\text{Mn}_{70}$, использовавшиеся в данной работе. Однако наряду с составом важным условием образования антиферромагнитного упорядочения в указанных сплавах является тип кристаллической структуры: г.ц.к. – для FeMn, г.ц.т. – для $\text{Ni}_{30}\text{Mn}_{70}$. Реализация указанных кристаллических структур в плёночном состоянии требует специальных технологических приёмов, к которым относятся: наличие затравочного буферного слоя с необходимой кристаллической структурой - в первом случае; термомагнитная обработка - во втором случае. Таким образом, для исследования были использованы два типа образцов, полученных методом магнетронного распыления: $\text{SiO}_2/\text{Ta}(5)/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}(5)/\text{Fe}_{50}\text{Mn}_{50}(L)/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}(40)/\text{Ta}(5)$ и $\text{SiO}_2/\text{Ta}(5)/\text{Ni}_{30}\text{Mn}_{70}(L)/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}(40)/\text{Ta}(5)$. Причём плёнки второго типа непосредственно после осаждения подвергались вакуумной термомагнитной обработке при температуре 300°C в течение 1 часа. Отметим также, что в приведённых структурных формулах косые линии отделяет слои разного состава, а цифры в скобках указывают толщины слоёв в нм. Варьируемым параметром в образцах обоих типов выступала толщина антиферромагнитного слоя L . Для исследования свойств плёнок использовались Керр-магнитометр Evico-magnetics и измерительный комплекс MPMS XL-7.

На рис.1 в качестве примера показаны зависимости коэрцитивной силы H_c и поля обменного смещения H_e от толщины антиферромагнитных слоев в образцах двух типов при комнатной температуре. Видны качественное сходство и определённое количественное различие этих характеристик для плёнок, содержащих антиферромагнитные слои разного состава. В работе с использованием данных низкотемпературных измерений выполнен анализ закономерностей формирования этих свойств.